

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 103 29 816.9

Anmeldetag: 27. Juni 2003

Anmelder/Inhaber: GSI Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH,
64291 Darmstadt/DE

Bezeichnung: Dosimeter zur Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung

IPC: G 01 T 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Juni 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Gleiss & Große

Patentanwälte · Rechtsanwälte
European Patent Attorneys
European Trademark Attorneys

Intellectual Property Law
Technology Law

Leitzstraße 45
D-70469 Stuttgart
Telefon: +49 (0)711 99 3 11-0
Telefax: +49 (0)711 99 3 11-200
E-Mail: office@gleiss-grosse.com
Homepage: www.gleiss-grosse.com

Dr. jur. Alf-Olav Gleiss · Dipl.-Ing. · PA
Rainer Große · Dipl.-Ing. · PA
Dr. Andreas Schrell · Dipl.-Biol. · PA
Torsten Armin Krüger · RA
Nils Helde · RA
Armin Eugen Stockinger · RA
Georg Brisch · Dipl.-Ing. · PA
Erik Graf v. Baudissin · RA

PA: Patentanwalt · European Patent Attorney
European Trademark Attorney
RA: Rechtsanwalt · Attorney-at-law · Admitted for
Representation at the EU-Trademark Office (OHIM), Alicante

In cooperation with
Shanghai Zhi Xin Patent Agency Ltd.
Shanghai · China

Patentanmeldung

Dosimeter zur Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung

GSI
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH
Planckstraße 1
64291 Darmstadt

Beschreibung

Die Erfindungsmeldung betrifft ein Dosimeter zur Erfassung hoch-energetischer Neutronenstrahlung gemäß Anspruch 1.

Weltweit werden Beschleunigeranlagen für Forschungszwecke und zur Nutzung im industriellen und medizinischen Umfeld betrieben. In diesen Beschleunigeranlagen werden Teilchen auf sehr hohe Energien beschleunigt. Beispielsweise werden in modernen Schwerionenbeschleunigern Ionen bis auf Energien von ca. 1 GeV pro Nukleon beschleunigt. In anderen Anlagen werden Teilchen auf noch höhere Energien bis in den Bereich Tera-Elektronenvolt (TeV) beschleunigt. Diese hochenergetischen Teilchen produzieren Sekundärstrahlung, geladene Teilchen und Neutronen, wenn sie mit Materie in Wechselwirkung treten. Das Energiespektrum der erzeugten Neutronen reicht von Elektronenvolt (eV) bis einige hundert Giga-Elektronenvolt (GeV), da die maximale Energie der erzeugten Neutronen denselben Energiebereich wie die der primären Teilchenstrahlen aufweist. Für den Strahlenschutz ist es notwendig, die erzeugten Neutronen zu messen, um Strahlenschutzmaßnahmen, insbesondere Abschirmungen, zu dimensionieren. Da hochenergetische Neutronen eine große mittlere Weglänge in Materie haben, können sie auch sehr starke Abschirmungen durchdringen. Deshalb ist es notwendig und von großer Bedeutung, ständig die Neutronenintensitäten, sowie Energie- und Winkelverteilung der Neutronen zu messen und zu überwachen, auch außerhalb der Abschirmungen. Personen, die sich im Bereich der Beschleunigeranlagen (innerhalb oder außerhalb der Abschirmungen) bewegen, müssen ständig Personendosimeter tragen, die die aktuelle Neutronendosis der diese Perso-

nen ausgesetzt sind messen und speichern. Insbesondere für die Strahlenschutzüberwachung ist es wichtig, Dosimeter zum Nachweis von Neutronenstrahlung zu entwickeln, die im gesamten Energiebereich der Neutronenstrahlung vom Bereich thermischer Neutronen (0,025 eV) bis zu den höchsten Energien im Bereich von GeV oder höher (bis zu 1 TeV) verwendet werden können.

Dosimeter für Neutronenstrahlung wurden bisher für Bereiche der Kerntechnik (Kernreaktoren, Radio-Nuklidquellen, Brennelementeindustrie, Transport von abgebrannten Brennelementen) entwickelt, die Dosismessungen für Energien bis maximal ca. 10 bis 20 MeV ermöglichen.

Das Ansprechvermögen der meisten Dosimetertypen ist für Neutronen höherer Energie als 20 MeV sehr gering, wobei mit steigender Neutronenenergie das Ansprechvermögen abnimmt. Einer der Gründe für diesen Effekt ist die Abnahme des Wirkungsquerschnittes, der für den Nachweis genutzten Reaktionen mit zunehmender Neutronenenergie. Im Allgemeinen gilt, dass mit zunehmender Neutronenenergie die in elastischer Streuung erzeugten Teilchen auch energiereicher werden. Es gilt für das Abbremsungsvermögen von geladenen energiereichen Teilchen, dass mit zunehmender Energie das Abbremsvermögen und damit auch die Energiedeposition in der Detektorschicht abnimmt. Dies führt ab einer bestimmten Energie der geladenen Teilchen dazu, dass diese nicht mehr nachgewiesen werden können. Neutronenfelder mit Anteilen an Neutronen höherer Energien im Energiespektrum können dann nur über spezielle Kalibrierfaktoren in der Dosisabschätzung gemessen werden. In Beschleunigern sind jedoch die Neutronenfelder in ihrer Energieverteilung sehr unterschiedlich, so dass einheitliche Kalibrierfaktoren nicht

immer angegeben werden können. Dosimetrische Systeme, die den gesamten Energiebereich messen, existieren bisher nicht.

- Es gibt in der Literatur Ansätze, das Ansprechvermögen der Neutronendosimeter für hohe Neutronenenergien zu verbessern, indem die Neutronenenergie mittels Vorschaltung eines Moderators vor das eigentliche Dosimeter erniedrigt wird. Dieser Ansatz kann für die extrem hohen Neutronenenergien nicht verwendet werden, da die Moderationskörper zu großvolumig im Einsatz in einem Personendosimeter wären.
- 5
- 10 Des weiteren wird die Verwendung von radioaktiven Folien aus spaltbarem Material zusammen mit Kernspurdetektoren beschrieben. Auch diese sind als Personendosimeter nicht sinnvoll einsetzbar, da Dosimeter mit radioaktiven Bestandteilen in der Personendosimetrie nicht verwendbar sind.
- 15 Aufgabe der Erfindung ist es, Dosimeter zur Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung zu entwickeln, die es gestatten hohe Neutronenenergien bis zu sehr hohen Energien von beispielsweise 1 TeV zu messen.
- 20 Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Dosimeter mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen vorgeschlagen. Da es sich bei Neutronen um elektrisch neutrale Teilchen handelt, können diese nicht direkt mittels eines Ionisationsprozesses nachgewiesen werden, es erfolgt daher eine Umwandlung in ionisierende Strahlung. Die hochenergetischen Neutronen werden mit Hilfe von Metallatomen in geladene Teilchen
- 25 wie Protonen, Alphateilchen und andere geladene Kerne umgewandelt, die direkt in einem Detektionselement des Dosimeters nachgewiesen werden können.

Das Dosimeter mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen erfüllt die folgenden Anforderungen:

- 5 1. Es wird ein ausreichend großer Wirkungsquerschnitt für Reaktionen der einfallenden Neutronen mit den Metallatomen des Neutronenkonverters realisiert, so dass die Energie der Neutronen umgesetzt wird in Protonen, Alpha-Teilchen und andere geladene Kerne.
- 10 2. Der Wirkungsquerschnitt des Dosimeters ist energieabhängig. Durch geeignete Wahl der Metallatome wird sichergestellt, dass dieser auch bei sehr hohen Neutronenenergien noch ausreichend groß ist.
- 15 3. Bei der Umsetzung der Energie von Neutronen in die oben genannten Teilchen wird sichergestellt, dass diese eine ausreichend hohe Energie haben, um von dem Detektionselement erfasst zu werden. Gleichzeitig ist ihre Energie nicht so groß, so dass eine genügen hohe Energiedeposition im Detektionselement erfolgen kann.
- 20 4. Bei der Umsetzung der Energie der Neutronenstrahlung treten folgende physikalische Effekte auf: Spallation, Fragmentation und Spaltung. Zur Detektion der hochenergetischen Neutronenstrahlung werden hier die bei der Spallation und bei der Fragmentation entstehenden Teilchen ausgenutzt.

25 Bevorzugt wird ein Ausführungsbeispiel eines Dosimeters, das sich dadurch auszeichnet, dass der Neutronenkonverter mehrere Schichten umfasst, die jeweils Metallatome einer bestimmten Kernladungs-

zahl aufweisen. Dadurch können Neutronenstrahlungen unterschiedlicher Energie optimal ausgewertet werden.

5 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel zeichnet sich dadurch aus, dass der Neutronenkonverter eine dünne Schicht mit ^6Li - und/oder ^{10}B -Atomen aufweist. Diese sind vorzugsweise in einer dünnen Schicht angeordnet, die von der der Neutronenstrahlung zugewandten Seite des Dosimeters aus gesehen, vor dem Detektionselement liegt. Das so aufgebaute Dosimeter ist dazu geeignet, zusätzlich Neutronenstrahlung mit einer geringeren Energie, beispielsweise thermische Neutronen zu erfassen.

15 Ein weiteres Ausführungsbeispiel zeichnet sich dadurch aus, dass ein wasserstoffhaltiges Polymer vorgesehen ist. Dabei ist der Neutronenkonverter mit unterschiedlichen Schichten versehen, von denen die der Neutronenstrahlung zugewandte erste Schicht Metallatome, die darunter liegende zweite Schicht das wasserstoffhaltige Polymer und die dritte Schicht ^6Li - und/oder ^{10}B -Atome enthält. Die dritte Schicht ist unmittelbar in der Nähe des Detektorelements angeordnet oder auf diesem vorgesehen.

20 Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Dosimeter mit einem Neutronenkonverter der Metallatome aufweist und einem Detektionselement;

Figur 2 ein Dosimeter mit einem eine Anzahl von Schichten mit Metallatomen unterschiedlicher Kernladungszahl Z aufweisenden Neutronenkonverter und einem Detektionselement;

5 Figur 3 ein Dosimeter mit einem Neutronenkonverter, der unterschiedliche Schichten aufweist, die der Erfassung von Neutronenstrahlung unterschiedlicher Energie dienen, außerdem ein Detektionselement;

10 Figur 4 ein Dosimeter mit einem Neutronenkonverter, der unterschiedliche Schichten aufweist zur Erfassung von Neutronenstrahlung unterschiedlicher Energie dienen, außerdem ein Detektionselement;

Figur 5 ein Dosimeter mit Bereichen unterschiedlicher Dicke sowie einem Detektionselement;

15 Figur 6 eine Draufsicht auf ein Dosimeter mit einem Neutronenkonverter, der unterschiedliche Felder aufweist und

Figur 7 ein Dosimeter mit einer Anzahl von Detektionselementen zur Ortsdosimessung.

20 Das in Figur 1 dargestellte Dosimeter 1 ist im Querschnitt dargestellt. Dadurch wird erkennbar, dass das Dosimeter einen Neutronenkonverter 3 und ein Detektionselement 5 aufweist. Bei der Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung treffen die Neutronen bei der Darstellung gemäß Figur 1 von oben auf den Neutronenkonverter 3 auf. Der Neutronenkonverter 3 umfasst Metallatome 7, auf die die hochenergetischen Neutronen auftreffen. Falls die einfallenden

25

Neutronen auf ein Metallatom mit vielen Nukleonen treffen, kommt es zur Spallation, also zur Abdampfung von Protonen und Neutronen. Es bildet sich eine intranukleare Kaskade im Kern des Metallatoms, bei der außer Protonen Neutronen emittiert werden, deren Energie geringer ist als die der auf das Dosimeter 1 auftreffenden Neutronen.

Die auf die Metallatome 7 auftreffenden Neutronen lassen die Kerne der Metallatome zerbrechen, es kommt also zu einer Fragmentation des auch als Targetkern bezeichneten Metallatoms in mehrere Kerne und anschließend zu einem Verdampfungsprozess von Teilchen. Dabei werden, außer Protonen und Alpha-Teilchen sowie weiteren Fragmenten, Neutronen erzeugt. Die Energie der entstehenden Teilchen ist geringer als die der auf das Dosimeter 1 auftreffenden Neutronen.

Beim Auftreffen der hochenergetischen Neutronenstrahlung auf den Neutronenkonverter 3 des Dosimeters 1 finden die Spallation und die Fragmentation gleichzeitig statt. Im Übrigen findet auch noch eine Spaltung schwerer Kerne in zwei Kerne unter Freisetzung von zwei bis drei Neutronen statt. Dies allerdings nur bei der Verwendung von Metallatomen radioaktiver Substanzen. Bei der Verwendung des Dosimeters 1 als Personendosimeter wird naturgemäß darauf geachtet, dass keine radioaktiven Metallatome eingesetzt werden.

Die drei genannten Prozesse finden, wie gesagt, gleichzeitig statt. Sie haben aber je nach Energie der einfallenden Neutronen einen unterschiedlichen Wirkungsquerschnitt. Dadurch weist das Dosimeter eine unterschiedliche Ansprechfunktion oder ein unterschiedliches Ansprechvermögen auf. Fallen Neutronen mit einer Energie

von ca. 30 MeV auf das Dosimeter, so werden durch die bei der Spallation auftretende intranukleare Kaskade Protonen erzeugt, deren Energie von dem Detektionselement 5 erfassbar ist. Bei dieser Energie der einfallenden Neutronen findet auch eine Fragmentation statt, bei der ebenfalls Protonen erzeugt werden. Deren Energie ist allerdings so gering, dass das Detektionselement 5 nicht anspricht.

Bei einer höheren Energie der auf das Dosimeter 1 auftreffenden Neutronenstrahlung ergibt sich Folgendes:

Die durch Spallation erzeugten Protonen haben entsprechend der höheren Energie der einfallenden Neutronen ihrerseits eine höhere Energie, die schließlich bei steigender Energie der Neutronen so groß ist, dass diese Protonen von dem Detektionselement 5 nicht mehr registrierbar sind. Bei der gleichzeitig gegebenen Fragmentation werden in diesem Fall Protonen erzeugt, deren Energie so groß ist, dass sie von dem Detektionselement 5 erfassbar werden.

Es zeigt sich also, dass bei der Erfassung der Neutronenstrahlung bei einer niedrigeren Energie aufgrund der Spallation eine Detektion mittels des Detektionselements 5 möglich ist. Bei einer höheren Energie der zu erfassenden Neutronenstrahlung kann eine Detektion im Detektionselement 5 nicht bezüglich der durch Spallation erzeugten Protonen erfolgen. Hier sind es die im Fragmentationsprozess entstehenden Protonen, die von dem Detektionselement 5 des Dosimeters 1 erfasst werden können. Dadurch ergänzen sich also diese beiden physikalischen Effekte bei der Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung.

Um Neutronenstrahlung unterschiedlicher Energie erfassen zu können, werden die Kernladungszahlen der Metallatome so gewählt,

5 dass im Rahmen der Spallation und der Fragmentation erzeugte Protonen sicher im Detektionselement 5 erfasst werden können. Die Spallation und Fragmentation findet nur bei Vorhandensein von Metallatomen mit genügend hoher Kernladungszahl statt, dadurch dass
 10 auf das Dosimeter 1 auftreffende Neutronen die Kerne der Metallatome aufheizen und die kinetische Energie des eintreffenden Neutrons auf viele Nukleonen verteilt wird. Erst wenn die Energie des eintreffenden Neutrons auf ausreichen viele Nukleonen verteilt ist, findet eine Abdampfung von Neutronen, Protonen und Alpha-Teilchen
 15 statt, deren Energie so ist, dass sie im Detektionselement 5 des Dosimeters 1 registriert werden können.

Insgesamt wird also durch die auf die Metallatome 7 auftreffenden Neutronen ein Teilchenspektrum erzeugt, dessen Energie geringer ist als die Energie der auftreffenden Neutronen. Da die Kernladungszahl Z der Metallatome die Energieverteilung der emittierten Teilchen bestimmt, kann sie so gewählt werden, dass die Teilchen von dem
 20 Detektionselement 5 erfasst werden können.

Durch die Wahl der Kernladungszahl Z der Metallatome kann auch bei unterschiedlicher Energie der zu erfassenden Neutronenstrahlung sichergestellt werden, dass jeweils Teilchen mit einem Energiespektrum erzeugt werden, die von dem Detektionselement 5 erfassbar sind. Beispielsweise kann für die im Neutronenkonverter 3 vorhandenen Metallatome 7 eine Kernladungszahl $Z > 15$ gewählt werden. Vorzugsweise werden Metallatome mit einer Kernladungszahl
 25 $Z > 20$ gewählt, um auch bei sehr hochenergetischer Neutronenstrahlung Teilchen entstehen zu lassen, die von dem Detektionselement 5 erfassbar sind.

Beispielsweise können in dem Neutronenkonverter 3 Metallatome der Eisengruppe (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Mn, Co, Cu) mit einer Kernladungszahl $Z \geq 20$ und/oder der Gruppe beginnend mit der Kernladungszahl $Z=39$ (Y, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd und Ag, In) und/oder der Gruppe beginnend mit der Kernladungszahl $Z \geq 55$ (Sb, Cs, Ce, Ba, La) und/oder der Gruppe beginnend mit der Kernladungszahl $Z \geq 63$ (Eu, Wd, Sm, Ga, Er) und/oder der Gruppe beginnend mit der Kernladungszahl $Z > 74$ (Ta, W, Re, Au, Pt) und/oder mit der Kernladungszahl $Z = 80$ (Hg) und $Z = 92$ (Pb) gewählt werden.

10 Für die Erfassung hochenergetischer Neutronenstrahlung werden besonders bevorzugt Metallatome von Titan, Kupfer, Eisen, Wolfram oder Blei. Aus diesen Metallen lassen sich nämlich leicht Metallplättchen herstellen, die ausgewalzt werden können.

15 Um das Dosimeter 1 auf die Erfassung von Neutronenstrahlung bestimmter Energie abstimmen zu können, werden auch Metallatome von Legierungen verwendet. Bevorzugt wird Elconite eingesetzt, das im Wesentlichen aus 35% Cu und 65% W besteht. Darüber hinaus können auch Atome von Metall enthaltenden Keramiken (Yttriumoxid, Cer-Oxid) eingesetzt werden. Insgesamt ist festzuhalten, dass

20 die in dem Neutronenkonverter 3 vorgesehenen Metallatome 7 danach ausgewählt werden, welche Energie der Neutronenstrahlung erwartet wird. Die Kernladungszahl der Metallatome wird entsprechend auf das zu erfassende Energiespektrum der Neutronenstrahlung abgestimmt.

Die Dicke des Neutronenkonverters 3 und die Anzahl der im Neutronenkonverter 3 vorhandenen Metallatome 7 muss so gewählt werden, dass einerseits eine ausreichend hohe Anzahl von Protonen erzeugt wird, und dass andererseits diese trotz ihrer begrenzten Reichweite das Detektionselement 5 erreichen und dort eine nachweisbare Spur hinterlassen. Vorzugsweise wird eine Bleischicht von circa 2 mm Dicke als Neutronenkonverter 5 gewählt.

In Figur 1 ist schematisch dargestellt, dass der Neutronenkonverter 3 einzelne Metallatome 7 umfasst. Bevorzugt wird der Neutronenkonverter 3 durch eine auf das Detektionselement 5 aufgebrachte metallische Schicht realisiert, beispielsweise durch eine Metallfolie, die vorzugsweise in einem Walzprozess hergestellt wird, oder durch eine auf das Detektionselement 5 aufgedampfte Metallschicht.

Dabei können Metallatome von Metallen in Reinstform verwendet werden oder von Legierungen. Es ist also möglich, Metallfolien oder eine aufgedampfte Schicht aus Metallatomen in Reinstform oder aus einer Legierung zu realisieren.

Figur 2 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel eines Dosimeters 1 im Querschnitt. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, so dass auf die Beschreibung zu Figur 1 verwiesen wird, um Wiederholungen zu vermeiden.

Das Dosimeter 1 weist einen Neutronenkonverter 3 auf, der mehr als eine Schicht, hier beispielsweise fünf Schichten 3a bis 3e aufweist. Der Neutronenkonverter 3 umfasst, wie bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1, Metallatome 7, die an die Energie der zu erfassenden Neutronenstrahlung angepasst sind.

Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel sind in der obersten, der Neutronenstrahlung ausgesetzten Schicht 3a, Metallatome 7a vorgesehen. In der darunter liegenden Schicht 3b sind Metallatome 7b vorhanden. Entsprechend sind in den Schichten 3c, 3d und 3e, Metallatome 7c, 7d und 7e vorhanden.

Auch hier können die Metallatome in den einzelnen Schichten von Metallen in Reinstform vorliegen oder in Form von Legierungen.

Besonders wird bevorzugt ein Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1, bei dem in den unterschiedlichen Schichten 3a bis 3e jeweils Metallatome unterschiedlicher Kernladungszahl Z vorhanden sind.

Bevorzugt ist ein Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1, bei dem von oben nach unten in den einzelnen Schichten 3a bis 3e Metallatome 7a bis 7e vorhanden sind, deren Kernladungszahl Z pro Schicht unterschiedlich ist. Dabei werden in der obersten Schicht 3a Metallatome mit der größten Kernladungszahl und abgestuft in Richtung zum Detektionselement 5 in der untersten Schicht 3e Metallatome 7e mit der kleinsten Kernladungszahl vorgesehen.

Die Kernladungszahl der Metallatome 7a bis 7e und der Abstand der jeweiligen Metallatome 7a bis 7e beziehungsweise der zugehörigen Schichten 3a bis 3e werden gewählt in Abhängigkeit von dem Energiespektrum der zu detektierenden Neutronenstrahlung.

Bei dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1 ist es möglich, die Kernladungszahl der Metallatome 7a bis 7e pro Schicht von oben nach unten in Richtung zum Detektionselement 5 kontinuierlich abnehmen zu lassen oder aber auch innerhalb der Schichten eine freie Wahl der Kernladungszahl zuzulassen. Es

kann also auch eine tiefer liegende Schicht Metallatome mit einer größeren Kernladungszahl aufweisen, als dies in den benachbarten Schichten der Fall ist.

- 5 Die Wahl der Folge der Schichten mit Metallatomen unterschiedlicher Kernladungszahl ist somit dem Energiespektrum der einfallenden zu messenden Neutronenstrahlung anpassbar, um ein optimiertes Ansprechvermögen des Dosimeters zu erreichen.

- 10 Die einzelnen Schichten des Dosimeters 3a bis 3e des Dosimeters nach Figur 2 können durch Metallfolien und/oder durch Metallbedampfung erzeugt werden. Es ist also möglich, Dosimeter 1 mit verschiedenen Schichten herzustellen, die nur aus Folien bestehen oder die nur durch Metallbedampfung erzeugt wurden. Denkbar ist es aber auch, Metallfolien und Metallbedampfung zu kombinieren und in beliebiger Reihenfolge abzuwechseln.

- 15 Im Übrigen kann noch vorgesehen werden, dass die einzelnen Schichten 3a bis 3e unterschiedlich dick ausgelegt sind, um das Ansprechverhalten des Dosimeters 1 auf Neutronenstrahlungen unterschiedlicher Energien abzustimmen.

- 20 Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Dosimeters 1 im Querschnitt. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, so dass auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

Das Dosimeter 1 weist einen Neutronenkonverter 3 auf, der hier zwei Schichten 3a und 3b umfasst, außerdem ein Detektionselement 5.

In der der einfallenden Neutronenstrahlung zugewandten Schicht 3a sind wiederum Metallatome 7 vorgesehen, die, wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2, von Metallen in Reinstform oder von Legierungen stammen können. Im Übrigen ist es möglich, die

5. Schicht 3a durch eine Metallfolie oder durch Metallbedampfung zu realisieren.

In der Schicht 3b sind ^6Li - und/oder ^{10}B -Atome 9 vorhanden.

Zur Funktion des Dosimeters 1 ist Folgendes festzuhalten:

10. Treffen auf die der Neutronenstrahlung zugewandte Schicht 3a mit den Metallatomen 7 Neutronenstrahlen, so werden aufgrund von Spallation und Fragmentation, wie anhand der Ausführungsbeispiele gemäß Figuren 1 und 2 erläutert, Protonen, Alpha-Teilchen und andere Kerne erzeugt, die in dem Detektionselement 5, das lediglich geladene Teilchen erfassen kann, detektierbar sind. Insofern wird

15. auf das in den Figuren 1 und 2 Erläuterte verwiesen.

20. Beim Auftreffen der hochenergetischen Neutronen auf die Metallatome 7 in der Schicht 3a werden aber auch Neutronen freigesetzt, deren Energie geringer ist als die der auftreffenden Neutronen. Die Neutronen an sich sind für das Detektionselement 5 nicht wahrnehmbar. Sie treffen bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel auf die ^6Li - und/oder ^{10}B -Atome 9, wodurch eine (n,α) -Reaktion auftritt, durch die die hier auftreffenden Neutronen der Metallatome 7 in geladene Alpha-Teilchen konvertiert werden. Diese können von dem Detektionselement 5 registriert werden.

25. Mittels der ^6Li - und/oder ^{10}B -Atome 9 in der Schicht 3b des Neutronenkonverters 3 können nicht nur die von den Metallatomen 7

stammenden Neutronen erfasst werden, was die Empfindlichkeit des Dosimeters 1 gegenüber den Ausführungsbeispielen gemäß den Figuren 1 und 3 erhöht, sondern auch auf das Dosimeter 1 auftretende Neutronen, deren Energiespektrum niedriger ist, so dass diese
 5 unmittelbar mit den Atomen 9 eine (n,α) -Reaktion eingehen können.

Das in Figur 3 dargestellte Dosimeter 1 ist also bezüglich der zu detektierenden Neutronenstrahlung empfindlicher als die in den Figuren 1 und 2 dargestellten Dosimeter. Es ist außerdem in der Lage, auch Neutronenstrahlung mit einer niedrigeren Energie zu erfassen,
 10 die unter 30 MeV liegt.

Somit ist das zu messende Energiespektrum des Dosimeters dieser Ausführungsform größer als das der in Figur 1 und 2 gezeigten Dosimeter.

Bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel kann die obere Schicht 3a des Neutronenkonverters 3 für sich gesehen mehrere Schichten aufweisen, wie dies anhand des Ausführungsbeispiels in Figur 2 erläutert wurde.
 15

Figur 4 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel eines Dosimeters 1 im Querschnitt, das grundsätzlich den gleichen Aufbau aufweist wie das in Figur 3 erläuterte. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, so dass auf die Beschreibung der vorangegangenen Figuren verwiesen wird. Der Neutronenkonverter 3 weist hier allerdings drei Schichten 3a, 3b und 3c auf, wobei die oberste Schicht 3a den einfallenden Neutronen zugewandt ist und die
 20 Schicht 3b auf dem Detektor aufliegt. Die Schicht 3c liegt zwischen den Schichten 3a und 3b.
 25

Das in Figur 4 dargestellte Ausführungsbeispiel des Dosimeters zeichnet sich also dadurch aus, dass zwischen den Schichten 3a und 3b des Neutronenkonverters 3 eine Schicht 3c vorgesehen ist, die wasserstoffhaltiges Polymer umfasst, beispielsweise Polyethylen (PE) oder Polymethylmethacrylat (PMMA).

Der Neutronenkonverter 3 liegt auf einem Detektionselement 5 auf, wie dies oben im Einzelnen erläutert wurde.

Das in Figur 4 dargestellte Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1 ist in der Lage, bei Verwendung des Dosimeters 1 als Personendosimeter, das am Körper einer Person getragen wird, die im Körper des Trägers rückgestreuten Neutronen zu erfassen. Diese Strahlung wird durch eine hochenergetische Neutronenstrahlung bewirkt, die auf die Person trifft.

Bei Verwendung als Personendosimeter wird das Dosimeter 1 so am Körper getragen, dass der Neutronenkonverter 3 dem Körper der Person abgewandt und damit der zu detektierenden Neutronenstrahlung zugewandt ist. Das Detektionselement 5 ist dem Körper der Person zugewandt.

Zur Funktion des in Figur 4 dargestellten Dosimeters 1 ist Folgendes festzuhalten: In den Körper der Person gelangende Neutronenstrahlung bewirkt, dass der Körper Neutronen mit niedrigerer Energie abgibt, als die auftreffenden Neutronen. Die Neutronen niedrigerer Energie treten durch das Detektionselement 5 und gelangen durch die Schicht 3b in die Schicht 3c. Die Neutronen weisen noch ein zu hohes Energiespektrum auf, so dass sie von den ^6Li - und/oder ^{10}B -Atomen 9 nicht konvertiert werden. Das Polymer in der Schicht 3c wirkt als Moderator und reduziert die Energie der Neutronen so weit,

dass diese nun von den ^6Li - und/oder ^{10}B -Atomen 9 in der Schicht 3b konvertiert werden können. Die dabei entstehenden Alpha-Teilchen werden dann von dem Detektionselement 5 erfasst.

5 In der Schicht 3c können ebenfalls Neutronen entsprechend niedriger Energie moderiert werden, die von oben oder von der Seite in diese Schicht eintreten.

10 Wie bei den anhand der vorangegangenen Figuren erläuterten Dosimetern kann die Schicht 3a des in Figur 4 dargestellten Dosimeters 1, aber auch die Schicht 3b aus mehreren Schichten bestehen, wie dies anhand des in Figur 2 dargestellten Dosimeters erläutert wurde.

15 Figur 5 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel eines Detektors 1 im Querschnitt, dessen Grundaufbau im Wesentlichen dem entspricht, der in Figur 1 dargestellt ist. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, so dass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird.

20 Das in Figur 5 dargestellte Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1 zeichnet sich dadurch aus, dass der Neutronenkonverter 3 über die Breite des Detektors 1 keine konstante Dicke aufweist. Beispielfhaft ist hier vorgesehen, dass in einem mittleren Bereich die Dicke des Neutronenkonverters 3 größer ist als in den sich daran anschließenden seitlichen Bereichen.

25 Die Ausgestaltung des dickeren Bereichs ist frei wählbar und an unterschiedliche Detektionsfälle anpassbar. Beispielsweise kann der dickere Bereich im Wesentlichen rechteckförmig ausgebildet sein und sich über die Tiefe des Detektors 1 erstrecken. Denkbar ist es aber auch auf der Oberseite des Neutronenkonverters 3 einen vier-

eckigen oder runden Vorsprung vorzusehen, so dass hier ein Bereich größerer Dicke gegeben ist.

Der hier dargestellte Aufbau des Detektors 1 bewirkt eine größere Sensibilität des Detektors gegenüber einer senkrecht auftreffenden Neutronenstrahlung. Dies deshalb, weil im dickeren Bereich die Anzahl der Metallatome erhöht wird, die von dem Neutronenstrahl getroffen werden können. Damit ergibt sich hier im Bereich größerer Dicke für die Neutronen ein verlängerter Weg innerhalb des Neutronenkonverters 3 und damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, Metallatome 7 zu treffen.

Durchlaufen Neutronenstrahlen den dünneren Bereich des Neutronenkonverters 3 unter einem Winkel, erhöht sich der Weg innerhalb des Konverters gegenüber einer senkrecht eintretenden Strahlung. Damit erhöht sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass der Neutronenstrahl auf Metallatome trifft.

Dieser Aufbau ermöglicht es, ein Dosimeter 1 zu realisieren, der die Winkelabhängigkeit bei der Detektion von Neutronenstrahlen reduziert.

Figur 6 zeigt ein Dosimeter 1 in Draufsicht, also eine Draufsicht auf den Neutronenkonverter 3.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Neutronenkonverter 3 über seine gesamte Ausdehnung — in Draufsicht gesehen — einen gleichen Aufbau aufweist. Eine Draufsicht auf die in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Dosimeter zeigte damit keine Struktur. Bei dem Dosimeter nach Figur 5 wäre lediglich der Bereich mit der größeren Dicke zu sehen.

Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel des Dosimeters 1 ist vorgesehen, dass der Neutronenkonverter 3 verschiedene Felder aufweist. Beispielhaft sind hier drei unterschiedliche Bereiche N1, N2 und N3 des Neutronenkonverters 3 vorgesehen, die im Wesentlichen rechteckförmig ausgebildet und in einem Abstand zueinander angeordnet sind. Denkbar ist es natürlich auch, die Kontur der Bereiche N1 bis N3 anders auszubilden, beispielsweise kreisförmig, ellipsoid oder dergleichen. Auch ist es möglich, die Bereiche unmittelbar aneinander angrenzen zu lassen und/oder eine andere Anzahl von Bereichen zu wählen.

Die Bereiche N1, N2 und N3 unterscheiden sich durch einen unterschiedlichen Aufbau. Dabei kann vorgesehen werden, dass die Bereiche mit Metallatomen unterschiedlicher Kernladungszahl Z versehen sind, verschieden aufgebaute Schichten oder dergleichen aufweisen.

In den verschiedenen Bereichen N1 bis N3 werden, wie oben beschrieben, geladene Teilchen erzeugt, die zu dem unterhalb des Neutronenkonverters 3 liegenden Detektionselement 5 gelangen und dort erfasst werden.

Der unterschiedliche Aufbau der Bereiche N1 bis N3 bedingt, dass die erzeugten geladenen Teilchen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Energie- und Winkelverteilung aufweisen und damit ein unterschiedliches Detektionsverhalten im Detektionselement 5 bezüglich der drei Bereiche N1 bis N3.

Aus den unterschiedlichen Detektionsergebnissen im Detektionselement 5 kann somit das Energiespektrum und die Winkelverteilung der auf das Dosimeter 1 auftreffenden Neutronenstrahlung bestimmt

werden. Dabei können die Eigenschaften der verschiedenen Felder N1 bis N3 variiert und auf Neutronenstrahlungen mit unterschiedlichen Energiespektren abgestimmt werden.

5 Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass das Detektionselement 5 bei allen anhand der Figuren 1 bis 6 beschriebenen Dosimeter gleich aufgebaut ist. Es lassen sich im Wesentlichen zwei Grundtypen unterscheiden, nämlich aktive Detektionselemente und passive.

10 Ein besonders einfacher Aufbau des Dosimeters 1 ergibt sich, wenn als Detektionselement 5 ein Teilchen registrierendes und speicherndes passives Detektionselement, hier beispielsweise ein anorganischer Kristall wie ein Thermolumineszenzkristall und/oder ein organischer Kristall und/oder ein Hochpolymer, wie Polykarbonat, und/oder ein anorganisches Glas gewählt wird.

15 In passiven Detektionselementen verursachen die geladenen Teilchen durch die Deponierung von Energie Strahlenschäden, die je nach dem zur Realisierung des Detektionselements verwendeten Material unterschiedlicher Natur sind und auch auf unterschiedliche Weise sichtbar gemacht werden können. Zur Auswertung des Detek-
20 tionselements 5 wird dieses in der Regel aus dem Dosimeter 1 aufgebaut.

Die geladenen Teilchen verursachen beispielsweise in anorganischen Kristallen wie Thermolumineszenzkristallen, beispielsweise LiF-Mg, Ti oder CaF_2 -Mn, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -Mn, Mg_2SiO_4 -Tb CaSO_4 -Dy, BeO-
25 Ma, Al_2O_3 durch die von den geladenen Teilchen deponierte Energie im Festkörpergitter freigesetzte Elektronen oder Löcher von bestimmten Störstellen eingefangen werden und Haftstellen erzeugen.

5 Diese werden unter Energieabgabe durch gezieltes Aufheizen des Detektionselements 5 in Form von Wärme und Licht wieder frei. Das Licht kann in einem Photodetektor gemessen werden. Die Intensität des Lichts wird als Funktion der Temperatur in einem Spektrum der so genannten Glow-Kurve sichtbar. Die Fläche unter der Kurve ist ein Maß, für die Anzahl der erzeugten Haftstellen und damit für die Anzahl der vom Detektionselement 5 registrierten geladenen Teilchen. Die Anzahl der geladenen Teilchen ist abhängig von der Anzahl der auf das Dosimeter 1 auftreffenden hochenergetischen Neutronen.

15 Da verschiedene geladene Teilchen unterschiedliche Ionisierungsdichten haben und damit Energiebeträge unterschiedlicher Größe an das Detektionselement 5 abgeben, ist zur Anregung der dabei erzeugten Haftstellen auch eine unterschiedliche Temperatur erforderlich. Das bedeutet, dass in der Glow-Kurve bei unterschiedlichen Temperaturwerten Intensitätsmaxima zu sehen sind, die den unterschiedlichen Teilchen zuzuordnen sind. Man kann also mittels Zuordnung der Intensitätsmaxima eine Aussage über das Teilchenspektrum und damit über die Art der geladenen Teilchen treffen.

20 Thermolumineszenzdetektoren können sehr erfolgreich auch in Bereichen eingesetzt werden, in denen nicht nur eine Neutronenstrahlung gegeben ist sondern auch eine Photonenstrahlung.

25 Das Detektionselement 5 kann auch ein organisches Hochpolymer wie Polycarbonat enthalten, vorzugsweise Allyldiglykol-karbonat (CR-39) oder Makrofol. Bei so ausgebildeten Detektionselementen 5 wird die die von den geladenen Teilchen in das Detektionselement 5 eingetragene Energie in latenten Kernspuren gespeichert. Diese kön-

nen mittels eines chemischen oder elektrochemischen Ätzverfahrens in so genannten Ätzgruben sichtbar gemacht und optisch ausgewertet werden. Die Dichte der innerhalb des Detektionselements 5 gegebenen Kernspuren ist proportional zu der Intensität der registrierten geladenen Teilchen, damit auch der Intensität der eingestrahnten Neutronen.

Es ist auch möglich, das Detektionselement 5 mit Hilfe von anorganischem Glas zu realisieren, in dem ebenfalls Kernspuren durch auftreffende geladene Teilchen entstehen. Das Glas wird ebenfalls mittels des im Zusammenhang mit Detektionselementen 5 aus Polycarbonat beschriebenen Verfahrens ausgewertet.

Die mit passiven Detektionseinheiten ausgebildeten Detektionselemente 5 werden in der Praxis für einen bestimmten, festgelegten Zeitraum der Strahlung ausgesetzt und dann ausgewechselt und ausgewertet.

Detektionselemente 5 mit passiven Elementen können Felder aufweisen, die unterschiedlich aufgebaut sind. Es kann sich also ein Aufbau ergeben, wie er anhand von Figur 6 bezüglich des Neutronenkonverters 3 erläutert wurde. Mit Detektionselementen 5, die derartige Felder aufweisen, ist es möglich, Energie und Art der auf das Dosimeter 1 auftreffenden Strahlung zu analysieren. Auf diese Weise ist es möglich, mit einem so ausgestalteten Dosimeter 1 nicht nur Neutronenstrahlungen sondern auch gemischte Strahlenfelder zu detektieren, die außer den Neutronen beispielsweise Photonen, unter anderem Gammastrahlung, aufweisen.

Dosimeter 1 der hier angesprochenen Art können auch mit Detektionselementen 5 ausgestattet werden, die mindestens ein aktives

Element aufweisen. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass die auftreffende Strahlendosis zu jedem Zeitpunkt abrufbar ist. Damit kann die aktuelle Neutronendosis zu jedem Zeitpunkt angezeigt werden.

5 Bei der Realisierung von aktiven Elementen werden in diesem Zusammenhang bevorzugt MOS-Durchbruchdetektoren verwendet, deren Wirkprinzip auf der Registrierung elektrischer Durchbrüche durch eine SiO_2 -Schicht eines MOS-Kondensators beruht. Diese Durchbrüche werden beim Durchgang eines geladenen Teilchens durch die SiO_2 -Schicht bei einem anliegenden elektrischen Feld verursacht.
10

Die Zählrate eines derartigen MOS-Durchbruchdetektors ist bei einer bestimmten Betriebsspannung der Flusssdichte, also der Teilchen bezüglich einer bestimmten Fläche, proportional.

15 Auch bei einem Detektionselement 5 mit einem aktiven Element können unterschiedlich ausgestaltete Felder vorgesehen werden, um gewünschte Strahlenfelder zu analysieren.

20 Figur 7 zeigt ein Dosimeter 1, das eine Anzahl von Dosimeteerelementen 1a bis 1h aufweist. Die einzelnen Dosimeteerelemente sind hier beispielsweise auf einer Kreislinie angeordnet und sind so ausgebildet, wie dies anhand der vorangegangenen Figuren erläutert wurde. Gegebenenfalls können auch Dosimeteerelemente unterschiedlichen Aufbaus miteinander zu einem Dosimeter kombiniert werden.

25 Wesentlich ist, dass die Dosimeteerelemente symmetrisch zueinander angeordnet sind. Vorzugsweise werden sie nicht nur in einer Ebene, wie in Figur 7 dargestellt angeordnet, sondern auf einem symmetri-

schen Raumkörper, vorzugsweise auf einer Kugel, um eine Ortsdosismessung durchführen zu können.

5 Möglich ist es im Übrigen auch, mehrere DosimETERelemente 1a bis 1h eines Dosimeters 1 auf einem Phantom, nämlich auf einem dem menschlichen Körper nachgebildeten Modell anzuordnen, um eine Richtungsmessung vorzunehmen.

10 Im Übrigen ist es möglich, mindestens zwei DosimETERelemente mit unterschiedlichen Metallatomen in einem Gehäuse vorzusehen, um die Energie- und/oder Winkelverteilung einer Neutronenstruktur zu erfassen.

Dosimeter der hier angesprochenen Art können also universell verwendet werden. Dabei kann die Anzahl der DosimETERelement auf den jeweiligen Detektionsfall angepasst werden.

Ansprüche

1. Dosimeter zur Erfassung von hochenergetischer Neutronenstrahlung mit einem Neutronenkonverter und einem Detektionselement, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Metallatome (7) umfasst, die die Energie der zu erfassenden Neutronen umsetzen in Protonen, Alphateilchen und andere geladene Kerne in einem geeigneten Energiebereich, so dass sie detektierbar sind.
- 5 2. Dosimeter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallatome (7) des Neutronenkonverters (3) eine Kernladungszahl $Z > 15$, vorzugsweise $Z > 20$ aufweisen.
- 10 3. Dosimeter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Titan-, Chrom-, Vanadium-, Eisen-, Kupfer-, Wolfram- und/oder Bleiatome umfasst.
- 15 4. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallatome (7) des Neutronenkonverters (3) stabil im Sinne der Radioaktivität sind.
5. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Metallatome (7) unterschiedlicher Kernladungszahl enthält.
- 20 6. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Metallatome (7) von Legierungen umfasst.
7. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) mindestens zwei

Schichten (3a,3b) mit Metallatomen (7) unterschiedlicher Kernladungszahl umfasst.

- 5 8. Dosimeter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Schichten (3a bis 3e) mit Metallatomen (7) umfasst, wobei im Wesentlichen jeweils pro Schicht nur Metallatome (7a bis 7e) mit einer bestimmten Kernladungszahl vorgesehen sind.
- 10 9. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichten (3a bis 3e) des Neutronenkonverters (3) von der der Neutronenstrahlung zugewandten Seite des Dosimeters (1) aus gesehen Metallatome (7a bis 7e) mit absteigender Kernladungszahl enthalten.
- 15 10. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der Schichten (3a bis 3e) mit Metallatomen (7) als Metallfolie, vorzugsweise als gewalzte Metallfolie, oder als mit Metall bedampfte Polymerfolie ausgebildet ist.
- 20 11. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Folge der Schichten (3a bis 3e) mit Metallatomen (7a bis 7e) unterschiedlicher Kernladungszahl an das Energiespektrum der Neutronenstrahlung angepasst ist.
12. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) von der der Neutronenstrahlung zugewandten Seite des Dosimeters (1) aus gesehen vor dem Detektionselement (5) - vorzugsweise in einer dünnen Schicht angeordnete - ^6Li und/oder ^{10}B -Atome (9) aufweist.

13. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei DosimETERelemente mit unterschiedlichen Metallatomen (7) zur Messung der Energie- und/oder Winkelverteilung in einem Gehäuse anordenbar sind.
- 5 14. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) zwischen den Metallatomen (7) und den ^6Li und/oder ^{10}B -Atomen (9) ein wasserstoffhaltiges Polymer aufweist.
- 10 15. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) Schichten umfasst, wobei die der Neutronenstrahlung zugewandte erste Schicht (3a) Metallatome, die zweite Schicht (3c) das wasserstoffhaltige Polymer und die dritte Schicht (3b) ^6Li - und/oder ^{10}B -Atome (9) enthält.
- 15 16. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neutronenkonverter (3) räumlich nebeneinander angeordnete Felder (N1,N2,N3) mit unterschiedlichem Aufbau aufweist.
- 20 17. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **gekennzeichnet durch**, eine Anzahl von DosimETERelementen (1a bis 1h), die auf einer Kugelfläche vorzugsweise symmetrisch anordenbar sind, um eine Ortsdosismessung vorzunehmen.
- 25 18. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **gekennzeichnet durch**, eine Anzahl von DosimETERelementen, die auf einem Phantom anordenbar sind, um eine Richtungsmessung vorzunehmen.

19. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das Detektionselement (5) mindestens ein passives Element und/oder mindestens ein aktives Element umfasst.
- 5 20. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das passive Element organischen Hochpolymer, vorzugsweise Polycarbonat oder Cellulosenitrat (vorzugsweise CR39 oder Makrofol) und/oder ein anorganisches Kristall und/oder Mineral vorzugsweise ein Thermolumineszenzkristall, vorzugsweise LiF und/oder anorganische Gläser und/oder ein organisches Kristall umfasst.
- 10 21. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das aktive Element einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweist.
- 15 22. Dosimeter nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Photonendosimeter vorgesehen ist.

Zusammenfassung

Es wird ein Dosimeter zur Erfassung von hochenergetischer Neutronenstrahlung mit einem Neutronenkonverter und einem Detektionselement vorgeschlagen, das sich dadurch auszeichnet, dass der Neutronenkonverter Metallatome umfasst, die die Energie der Neutronen umsetzen in Protonen, Alphateilchen und andere geladene Kerne in einem geeigneten Energiebereich, so dass sie detektierbar sind.

(Figur 1)

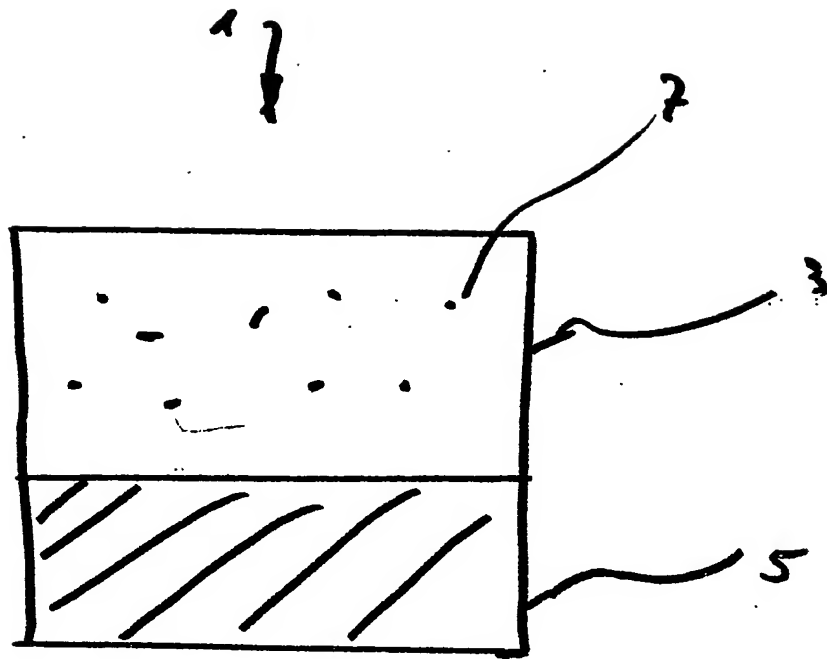


Fig. 1

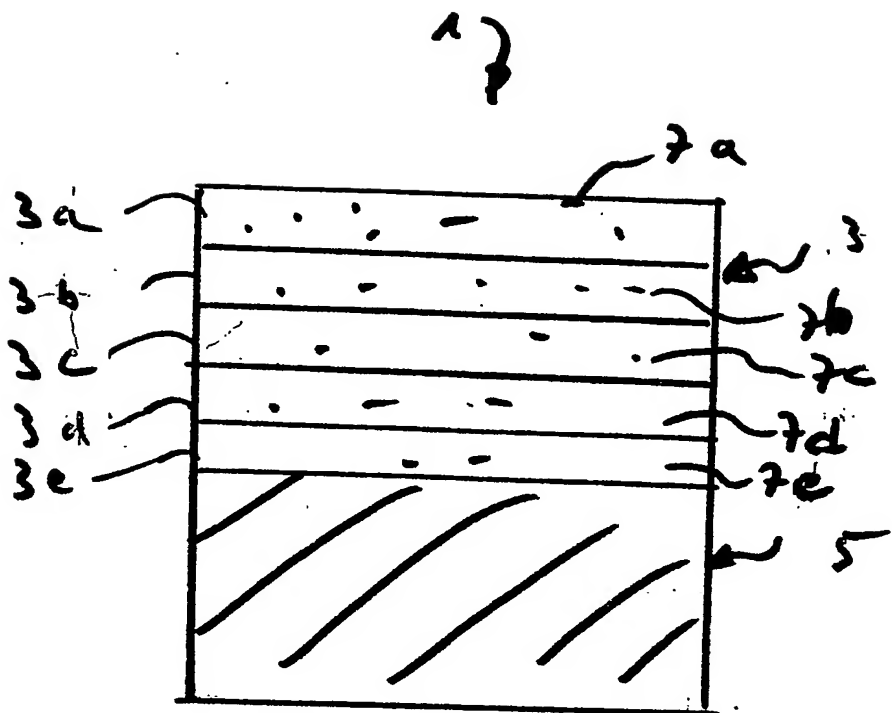


Fig. 2

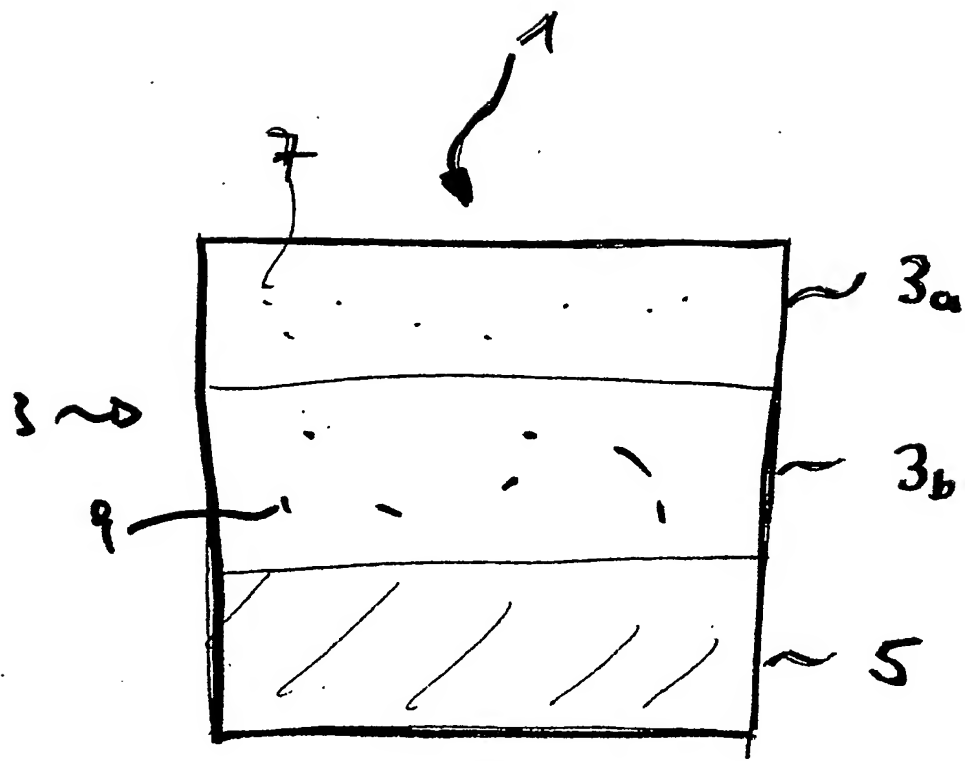


Fig 3

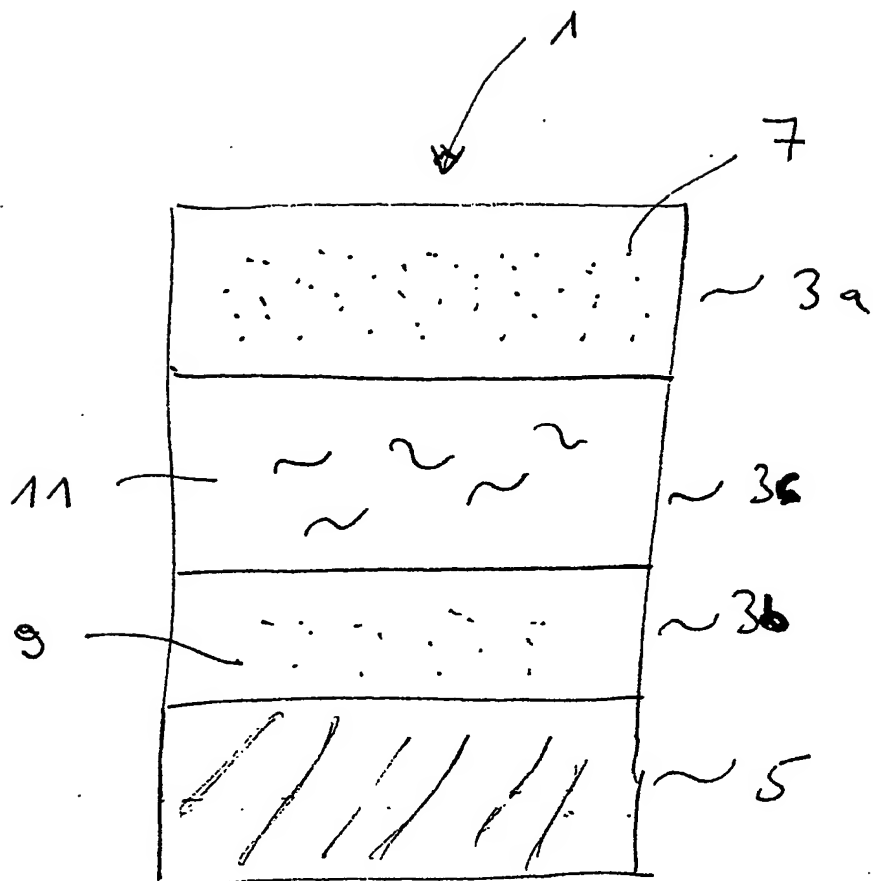


Fig. 4

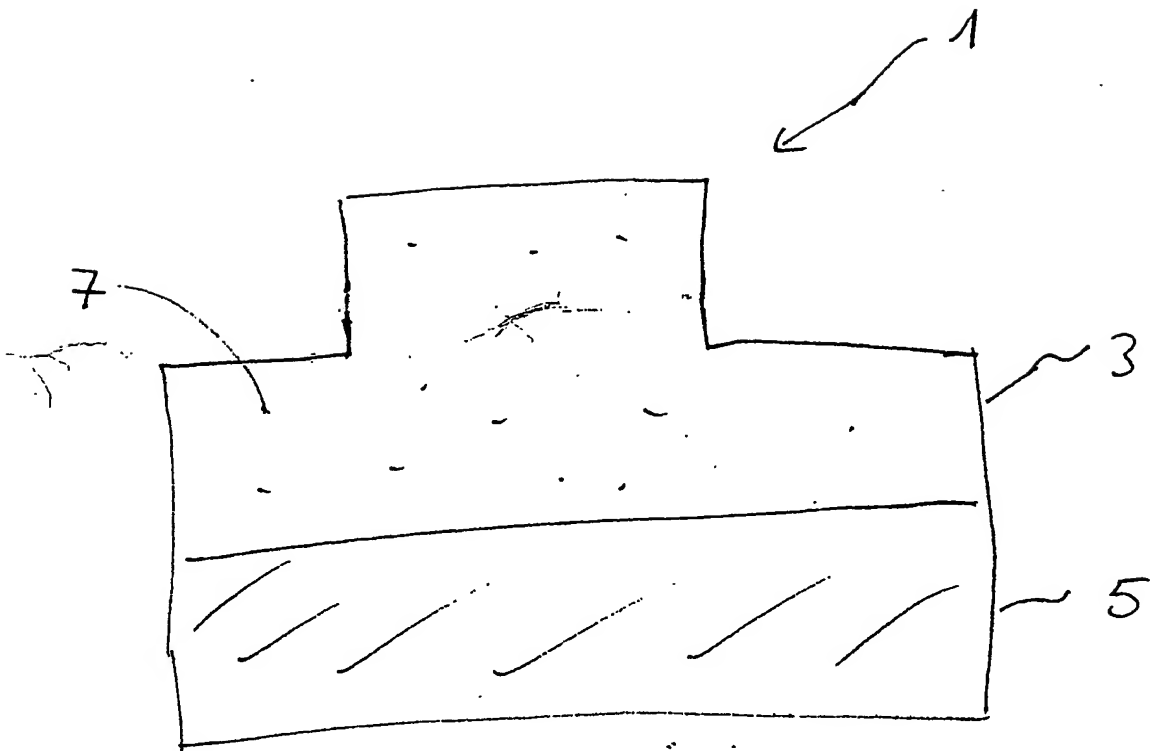


Fig. 5

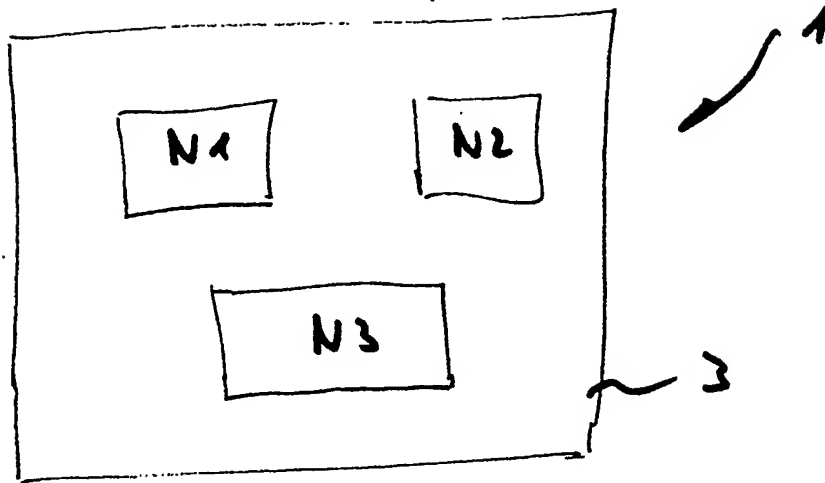
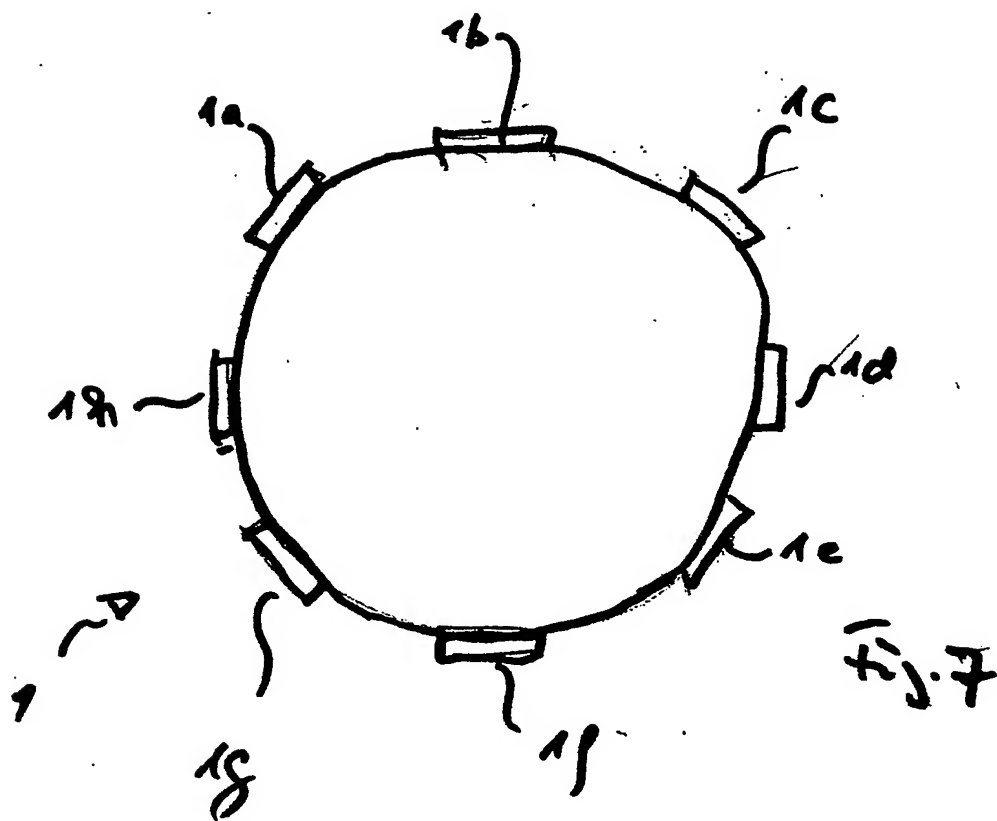


Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.